



**5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL**

# **5º Congreso Forestal Español**

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

---

REF.: 5CFE01-395

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León  
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009  
ISBN: 978-84-936854-6-1  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Avances en el diagnóstico de la desertificación en España

ROJO SERRANO, L.<sup>1</sup>, DEL BARRIO ESCRIBANO, G.<sup>2</sup>, IBÁÑEZ PUERTA, F.<sup>3</sup>,  
MARTÍNEZ RUIZ, A.<sup>4</sup>, MARTÍNEZ VALDERRAMA, J.<sup>2</sup>, MARTÍNEZ VICENTE, S.<sup>5</sup>,  
PUIGDEFÁBREGAS TOMÁS, J.<sup>2</sup>, RAMOS FERNÁNDEZ, P.<sup>4</sup>, SÁNCHEZ DÍAZ, J.<sup>6</sup>,  
SANJUAN MARTÍNEZ, M.E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

<sup>2</sup> Estación Experimental de Zonas Áridas (EEZA). CSIC.

<sup>3</sup> Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>4</sup> Tecnologías y Servicios Agrarios, S.A. (TRAGSATEC).

<sup>5</sup> Instituto de Economía, Geografía y Demografía. CSIC.

<sup>6</sup> Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE). CSIC-Universitat de València-Generalitat Valenciana.

### Resumen

Con vistas a la aprobación definitiva del Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND), el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino pone en marcha en 2006 un nuevo proceso de revisión del PAND, entre otras razones, por la necesidad de elaborar una revisión del diagnóstico de la desertificación que permita la determinación de la distribución e intensidad del problema en España con un mayor detalle. Con esta iniciativa se han obtenido algunos avances en el diagnóstico de la desertificación.

Esta revisión pretendía recopilar y aplicar los avances de la comunidad científica internacional y de diversos organismos que han venido trabajando en la evaluación y diagnóstico de la desertificación. Para ello se constituyó un grupo de trabajo formado por expertos en desertificación, pertenecientes a organismos e instituciones de las distintas regiones de España.

Entre los resultados, además de una importante mejora del “mapa de riesgo de desertificación”, que fue incluido en el PAND aprobado en agosto de 2008, destaca el planteamiento de un Sistema Integrado de Evaluación y Vigilancia de la Desertificación en España, también incorporado al PAND, que permita una revisión continua del estado y evolución del proceso, y que sea capaz de proporcionar pronósticos prospectivos con diferentes escenarios climáticos y socioeconómicos. Se pretende que el Sistema recoja e integre las numerosas líneas de trabajo en desarrollo en nuestro país. Se exponen, por su mayor potencialidad y viabilidad, algunos elementos de evaluación y seguimiento en fase de desarrollo e incorporación al Sistema Integrado.

### Palabras clave

Evaluación, seguimiento, pronóstico, vulnerabilidad, degradación, suelo.

## 1. Introducción

En cumplimiento de las obligaciones contraídas como país Parte de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD), la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal ha trabajado de forma continuada durante los últimos años en la elaboración del Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND). El PAND se ha aprobado mediante la Orden ARM/2444/2008. (B.O.E núm 200, de 19 de agosto).

La determinación de las áreas con riesgo de desertificación constituye un elemento fundamental de la lucha contra la desertificación y, por ello, se incorporó desde el principio al PAND.

En 2006, y con vistas a la aprobación definitiva del PAND, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino realiza una actualización del PAND que incluye una revisión del diagnóstico de la desertificación, en la que además de actualizar los datos de base se consideran nuevos criterios y metodologías.

La revisión del diagnóstico que se ha realizado incorpora los avances de la comunidad científica nacional e internacional mediante la constitución de un grupo de trabajo compuesto por expertos en desertificación, pertenecientes a diversas instituciones nacionales.

## 2. El diagnóstico de la desertificación mediante aproximación cartográfica.

La metodología actualizada, aplicada para estimar el riesgo de desertificación en el territorio español, consiste en la aplicación de un modelo basado en la caracterización de la superficie de acuerdo con la intensidad en que se presentan determinados factores y procesos de desertificación. Los indicadores de estos factores que se han utilizado son: aridez (razón entre precipitación y evapotranspiración potencial), erosión (pérdidas de suelo), incendios (porcentaje de superficie acumulada recorrida por el fuego durante 10 años) y sobreexplotación de acuíferos (balance entre recarga y extracción). Estos son elementos determinantes de la desertificación en la vertiente Mediterránea de acuerdo con el Anexo IV de Aplicación Regional para el Mediterráneo Norte de la CNULD, al que España pertenece y, lo que es más importante, se dispone de la información necesaria para su elaboración homogénea en el nivel nacional. La metodología empleada para la elaboración del Mapa de Riesgo de Desertificación se explica con detalle en el texto del PAND (Anexo nº 1). El PAND y sus anexos pueden descargarse de la web del MARM.

Entre las variaciones más relevantes respecto al mapa inicial destaca el cambio de la unidad de diagnóstico, que ha pasado de la subcuenca en que se compartimentaba el territorio en la versión inicial, a la caracterización directa de los recintos resultantes de la superposición de las capas de información, obteniendo con ello un resultado de mucha mayor resolución espacial. Otro cambio destacable consiste en la actualización de datos cuando ha sido posible por contar con información homogénea para toda España (factores incendios y aridez). Las figuras 1 y 2 muestran el mapa de riesgo de desertificación antes y después de la revisión.

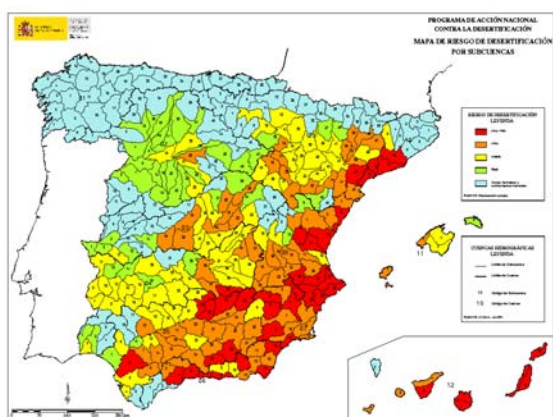


Figura 1. Mapa de riesgo de desertificación.  
Documento de Trabajo del PAND, junio 2005

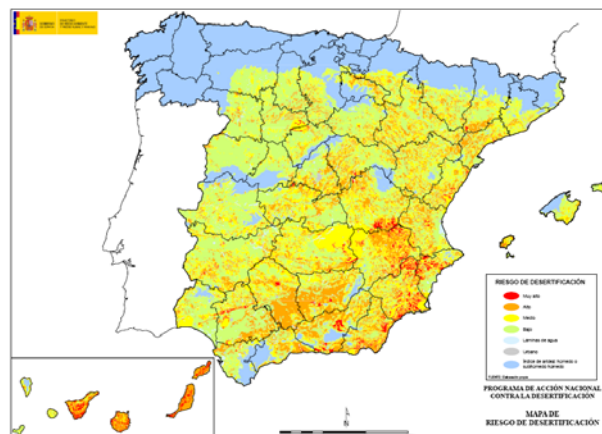


Figura 2. Mapa de riesgo de desertificación.  
PAND, agosto 2008

Como se puede apreciar, estos cambios han llevado a unos resultados más detallados y ajustados, eliminando simplificaciones derivadas del hecho de trabajar con medias asignadas a grandes superficies. La incorporación de datos actualizados también ha contribuido a la mejora del resultado. Debido a la mayor resolución que proporciona el cálculo por recintos, se produce una disminución importante en el porcentaje de superficie con riesgo de desertificación muy alto en todas las Comunidades Autónomas afectadas, siendo también significativa la reducción de las superficies con riesgo alto y medio (en los valores medios nacionales las reducciones son de 8,40% en la categoría de muy alto, 7,47% en riesgo alto y 5,11% en riesgo medio).

Por su parte, la actualización de los datos de incendios (se han sustituido los datos de la década 1986-1995 por los de la década 1996-2005), reduce ligeramente en el conjunto del país los porcentajes de superficie de las categorías de riesgo superiores, lo que es consecuencia de la disminución de superficie incendiada recorrida por el fuego en esta década respecto a la anterior. Esta disminución ha tenido lugar prácticamente en todo el territorio, exceptuando algunas zonas de Galicia, y es particularmente relevante en Cataluña, Comunidad Valenciana, Andalucía y Extremadura.

La distribución final de superficies por categorías de riesgo de desertificación se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Distribución por nivel de riesgo

Riesgo de desertificación		Superficie (ha)	Proporción
Muy alto		1.029.517	2,03 %
Alto		8.007.906	15,82 %
Medio		9.718.040	19,20 %
Bajo		18.721.141	36,99 %
<b>Total Zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas</b>		<b>37.476.605</b>	<b>74,05 %</b>
Zonas húmedas y subhúmedas húmedas		12.773.820	25,24 %
Láminas de agua y urbano		356.937	0,71 %
<b>Total Nacional</b>		<b>50.607.361</b>	<b>100,00 %</b>

Estos resultados se obtuvieron utilizando los datos de pérdidas de erosión laminar y en regueros procedentes del Mapa de Estados Erosivos (MEE) (1987-2002). Sin embargo, durante el proceso de la revisión se ha iniciado la incorporación al estudio de los datos de las

provincias ya disponibles del Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES), que comenzó a realizarse en 2002, y que está previsto que finalice en 2012.

Así, aplicando el mismo algoritmo pero utilizando los datos del INES, en el conjunto de las diez provincias analizadas la superficie con un riesgo de desertificación alto o muy alto es del 5,64%. Esto supone un importante descenso respecto a los resultados con MEE, donde la suma de las categorías alto y muy alto es de casi el 18%. La razón de esta considerable disminución obedece a que las tasas de pérdidas de suelo del INES son en general más bajas que las que proporciona el MEE; ello a su vez se debe principalmente a las diferencias entre las metodologías empleadas en uno y otro producto, pero sin olvidar la influencia que puedan tener los cambios en los usos de suelo que han tenido lugar entre ambos periodos de toma de datos.

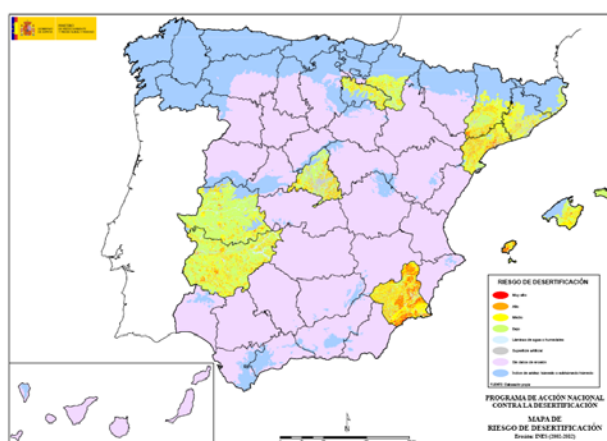


Figura 3. Mapa de riesgo de desertificación. Provincias con datos del INES. PAND, agosto 2008

### 3. El Sistema Integrado de Evaluación y Vigilancia de la Desertificación en España.

El PAND incorpora la puesta en marcha de un “Sistema Integrado de Evaluación y Vigilancia de la Desertificación en España” que permita una revisión continua del estado y evolución del proceso, y que sea capaz de proporcionar pronósticos prospectivos con diferentes escenarios climáticos y socioeconómicos. Se pretende lógicamente que el Sistema recoja e integre las numerosas líneas de trabajo en desarrollo en nuestro país.

Para facilitar su implantación se ha contado con la colaboración del Grupo de Expertos, tanto en la tarea de fijar los objetivos como en la de identificar los componentes principales que tienen una mayor potencialidad y viabilidad para ser desarrollados en el marco del Sistema Integrado.

El principal objetivo de este Sistema es constituirse en un instrumento operativo de apoyo a la aplicación del PAND, a través de la determinación de zonas con problemática en las que llevar a cabo las actuaciones preventivas y correctoras que correspondan, de acuerdo a la evaluación de la situación actual y a las previsiones futuras que determine el propio sistema. Entre las premisas para su establecimiento se pueden citar la integración de la información preexistente, la incorporación continua de nuevas líneas, la participación activa de los grupos de investigación y la comunicación y búsqueda de sinergias entre las actividades de seguimiento y evaluación en ámbitos comunes (por ejemplo, Observatorio de la Sostenibilidad, Observatorio de la Sequía o la Oficina de Cambio Climático).

Los objetivos específicos del Sistema son:

- Establecer una evaluación del estado actual de la desertificación, incluyendo la distinción entre las áreas afectadas por desertificación actual (en la que las causas son operativas) y las áreas con “desertificación heredada” (en la que los factores que la causaron ya no actúan hoy día).
- Proporcionar un instrumento capaz de realizar evaluaciones del estado de desertificación en el tiempo (seguimiento).
- Proporcionar pronósticos prospectivos acerca de la evolución en el tiempo de acuerdo con diferentes escenarios climáticos y socioeconómicos.

#### **4. Elementos de evaluación y seguimiento de la desertificación en fase de desarrollo e incorporación al sistema**

##### ***Utilización de la Cartografía de suelos LUCDEME para la evaluación de la degradación de suelos.***

Una de las actividades más destacables del proyecto LUCDEME (acrónimo de LUCHA Contra la DESertificación en el MEditerráneo, proyecto iniciado en 1981 por el Ministerio de Agricultura y vigente en la actualidad) es un programa de cartografía sistemática de suelos que se desarrolla desde mediados de los ochenta, y que tiene como objetivo recopilar información básica útil para evaluar los procesos de desertificación en el Levante y Sureste peninsular. Este programa constituye el mayor esfuerzo de caracterización edáfica que se ha realizado hasta ahora en el territorio nacional. Hasta el momento se han elaborado 141 hojas a escala 1:50.000 lo que supone una superficie cartografiada de 70.500 km<sup>2</sup> cubriendo la totalidad de las provincias de Almería, Granada y Murcia y la mayor parte de las de Alicante, Málaga, Jaén y Valencia.

El conocimiento de la vulnerabilidad del sistema edáfico aporta un tipo de información útil para poder planificar el desarrollo equilibrado y sostenible de las actividades productivas y, por tanto, asignar adecuadamente los usos del territorio; sobre todo si consideramos que la utilización inapropiada del suelo, recurso escaso y no renovable a corto y medio plazo, puede provocar su degradación de manera irreversible, especialmente en condiciones ambientales mediterráneas.

La interpretación directa entre los tipos de suelos y su vulnerabilidad frente a la degradación puede ser compleja aunque es posible establecer unos valores medios, a partir de criterios metodológicos, que reflejen su comportamiento general. Esta línea de trabajo se basa, por lo tanto, en el ensayo y análisis de las metodologías más adecuadas para evaluar la degradación de suelos, a partir de la información sistemática y cartográfica de suelos ya existente o que se vaya generando. Esta línea representa en este sentido una metodología alternativa y/o complementaria para la evaluación del riesgo de desertificación.

Esta línea de trabajo se está desarrollando con la colaboración del Centro de Investigaciones sobre Desertificación-CIDE.

##### ***Aproximación metodológica a partir de las características de las unidades taxonómicas.***

Es la aproximación metodológica que por ahora arroja resultados más consistentes y en ella la evaluación de la vulnerabilidad de los suelos ante la degradación se realiza a partir de



las características de las unidades y subunidades taxonómicas que conforman la leyenda de cada Hoja de los Mapas de Suelos LUCDEME.

La información que se extrae de estos mapas requiere la aplicación de criterios metodológicos para su baremación, como son: el desarrollo de los procesos de humificación, argiluvación, calcificación o salinización; la falta de espesor efectivo del suelo por denudación o por encostramiento; y el escaso estadio evolutivo de los suelos climax del ambiente árido, semiárido y subhúmedo seco mediterráneo.

En los ensayos realizados en dos zonas piloto utilizando la información de dos Hojas de Suelos, una de Castellón y otra de Almería, se realiza una primera clasificación a partir de las unidades taxonómicas que, en razón a las propiedades aludidas, se clasifican en cinco clases de vulnerabilidad:

- *CLASE 1 Muy baja vulnerabilidad a la degradación:* Se han incluido los suelos que presentan las mejores condiciones para frenar los procesos de degradación y los suelos considerados climax en el ambiente mediterráneo. Se caracterizan porque por sus propiedades son los menos susceptibles a una degradación. De entre ellas, la buena incorporación de materia orgánica en sus horizontes que favorece el proceso de humificación. La textura y estructura, permeabilidad, porosidad o espesor que presentan les confieren mayor estabilidad en las condiciones actuales. Las unidades taxonómicas de esta clase son:
  - Suelos húmíferos: Leptosoles réndzicos, Leptosoles húmicos, Kastanozems, Chernozems, Phaeozems.
  - Fluvisoles no sálicos.
  - Calcisoles sin horizontes pétricos.
  - Cambisoles.
- *CLASE 2 Baja vulnerabilidad a la degradación:* Se han incluido los suelos que presentan condiciones aceptables para frenar los procesos de degradación con niveles inferiores a los suelos considerados climax en el ambiente mediterráneo. Se caracterizan porque sus propiedades son poco susceptibles a una degradación, aunque presentan ligeras limitaciones (en relación con la clase 1) para su estabilidad ligadas a estructuras moderadamente desarrolladas, bien por textura con una fracción dominante, y/o con horizontes húmíferos superficiales y decrecimiento rápido de la materia orgánica en profundidad. El espesor y propiedades físicas y químicas aceptables mantienen una estabilidad elevada. Las unidades taxonómicas de esta clase son:
  - Suelos húmíferos: Leptosoles réndzicos y Leptosoles húmicos en asociación con otros suelos con baja vulnerabilidad.
  - Fluvisoles.
  - Calcisoles sin horizontes pétricos.
  - Cambisoles no sépticos.
  - Luvisoles no sépticos.
- *CLASE 3 Moderada vulnerabilidad a la degradación:* En este grupo se integran los suelos con características menos favorables para soportar procesos de degradación que los grupos anteriores. Esta clase agrupa suelos menos húmíferos que además presentan otras limitaciones para el desarrollo óptimo de una cubierta vegetal protectora o sólo pueden sustentar formaciones vegetales muy específicas. Incluye suelos con escaso espesor, encostramientos superficiales, texturas gruesas o estructuras que favorecen la disminución

del potencial redox, o propiedades químicas inadecuadas como moderada salinidad así como suelos cuyas características han sido modificadas por el hombre. También se incluyen las asociaciones de suelos donde las características de los mismos son muy dispares y en su conjunto aumentan la sensibilidad a la degradación (Regosoles calcáricos/Leptosoles réndzicos). Las unidades taxonómicas de esta clase son:

- Leptosoles húmicos.
  - Regosoles calcáricos.
  - Calcisoles háplicos.
- *CLASE 4 Alta vulnerabilidad a la degradación:* Esta clase agrupa suelos muy poco humíferos, con escaso espesor, encostramientos superficiales, texturas gruesas o estructuras que favorecen la disminución del potencial redox, o con propiedades químicas inadecuadas. Incluye suelos que sólo pueden sustentar formaciones vegetales muy específicas. También se incluyen suelos cuyas características han sido modificadas por el hombre, y asociaciones de suelos donde las características de los mismos son muy dispares o en su conjunto aumentan la sensibilidad a la degradación (Luvisoles sépticos/Leptosoles líticos). Se clasifican en este grupo:
- Calcisoles con horizontes pétricos.
  - Luvisoles en fase lítica.
  - Cambisoles sépticos.
  - Arenosoles asociados a Regosoles, o a Leptosoles líticos.
  - Leptosoles eútricos.
  - Solonchaks.
- *CLASE 5 Muy alta vulnerabilidad a la degradación:* Esta clase comprende, por un lado, los suelos cuyo factor limitante es la falta de espesor o incluso aquellos cuya roca madre consolidada está en superficie y, por otro lado, los de tan escaso estadio evolutivo que sus propiedades son prácticamente las del material de origen, normalmente no consolidado, que favorece el desarrollo de graves morfologías erosivas. Se clasifican en este grupo:
- Leptosoles líticos.
  - Regosoles no húmicos.

Con base en estos criterios, y teniendo en cuenta la descripción de las unidades cartográficas, se clasifica cada unidad de leyenda de la Hoja de Suelos. En las figuras 4 y 5 se presenta la Hoja MTN 1044 – Alhama de Almería y el Mapa de Vulnerabilidad a la Degradación resultante.

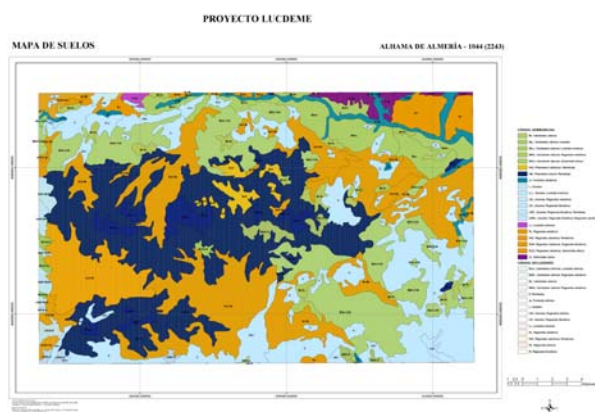


Figura 4. Hoja 1044 del Mapa de Suelos LUCDEME



Figura 5. Mapa de vulnerabilidad a la degradación



Una de las conclusiones obtenidas de estos ensayos, es la necesidad de contar con un catálogo de Suelos de Referencia para cada ambiente litomorfo-estructural/climático.

*Aproximación metodológica a partir de la selección y aplicación de índices de degradación física, química y biológica de los suelos.*

Otra aproximación planteada, ensayada únicamente a nivel subregional, es la utilización de índices de degradación física, química y biológica. Entre los índices a considerar se incluyen:

- *Índice de degradación física (IDF)*. Este índice tiene en cuenta los procesos que más influyen en la degradación física de un suelo, y que están relacionados entre sí como son la capacidad de encostramiento, la reducción de la permeabilidad y la degradación de la estructura. La dificultad de la aplicación radica en la necesidad de contar con datos como estabilidad estructural, limo fino y limo grueso para el cálculo del índice de encostramiento. Se podrían utilizar criterios de edafotransferencia y estimar dicho índice.
- *Índice de degradación biológica (IDB)*. Este índice sólo considera la mineralización de la materia orgánica como principal factor que afecta a la degradación biológica de un suelo, siendo su referencia el suelo modal.
- *Índice de degradación química (IDQ)*. El suelo puede perder su potencial productivo ya sea por un exceso de sales o por la alcalinización del mismo. Este índice tiene en cuenta estos dos procesos, de forma que suelos con porcentajes de sales altos, suelos con altos contenidos de sodio, y que a la vez tengan una baja capacidad de intercambio catiónico serán los que muestren índices de degradación química más elevados.

La aplicación de esta metodología requiere, además de la selección de los índices adecuados, dar los siguientes pasos:

- Actualización de la tipología de suelos (clasificación FAO 1974, 1988 y WRB 1988 y 2006).
- Selección de índices. Criterios de edafotransferencia.
- Análisis de sensibilidad de los diferentes parámetros utilizados para la estimación de los índices.
- Implementación de los datos de suelos en un SIG.
- Aplicación de los índices de degradación calculados para cada tipo de suelo a cada unidad cartográfica.
- Visualización de la cartografía resultante y análisis.

***Estudio de índices y modelos de desertificación basados en el empleo de la teledetección mediante la determinación de la condición de la cubierta vegetal.***

Entre los proyectos, tanto a nivel nacional como a nivel internacional, que estudian la utilización de índices obtenidos por teledetección en el diagnóstico de la desertificación en España, los que han ofrecido resultados de mayor interés y posibilidades de integración en el diagnóstico de la desertificación en España han sido el proyecto DesertWatch (desarrollado por la ESA, Agencia Espacial Europea, entre 2004 y 2007), y el proyecto DeSurvey (*A Surveillance System for Assessing and Monitoring Desertification*) que es un Proyecto Integrado desarrollado en el Sexto Programa Marco de I+D de la Comisión Europea y se

encuentra actualmente en ejecución. En ambos proyectos ha participado la Estación Experimental de Zonas Áridas (EEZA-CSIC), desarrollando una línea de trabajo de evaluación y seguimiento de la desertificación mediante el estudio de la condición del paisaje empleando una serie de índices obtenidos por medio de teledetección y usando series largas de datos meteorológicos.

La metodología en la que se trabaja desde hace años está basada en el papel integrador de la vegetación en los procesos del ecosistema en que se integra, y responde al carácter holístico de la definición de desertificación de la CNUCLD (la desertificación es la degradación de tierras en regiones secas; la CNUCLD define la degradación de tierras como la pérdida de productividad biológica y económica), que atiende más al conjunto del proceso que a las causas particulares, como la erosión, salinización, etc.

El método requiere, por un lado, un período suficientemente largo para el que haya disponibles series mensuales de datos climáticos y, por otro lado, algún producto relacionado con la detección de la densidad de vegetación mediante sensores remotos, como el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI). Sobre estos datos se ejecutan dos procedimientos: uno de valoración, en el que todas las localizaciones se comparan sincrónicamente a través del espacio y dentro del conjunto del período, y otro de seguimiento, en el que cada localización se compara consigo misma en el curso del tiempo. El resultado final es un mapa jerarquizado de condición de la tierra, donde el nivel superior indica estado y el inferior indica tendencia (figura 6). El concepto operativo de condición está relacionado con la utilización de índices de Productividad Primaria Neta (NPP) para evaluar la degradación de tierras. Consiste en una medida de la Eficiencia del Uso de la Lluvia (RUE) esto es, el cociente entre NPP y precipitación, que, en definitiva, refleja la capacidad de un paisaje para convertir la precipitación que recibe en biomasa verde. La NPP se surroga al NDVI. La asunción básica del método es que cuanto más degradada es una porción de tierra, menor es su capacidad de utilizar la lluvia para producir biomasa verde. Este planteamiento coincide con el concepto de madurez de una agrupación vegetal en ecología, según el cual cuanto mayor es el grado de madurez de la comunidad vegetal, mayor es el aprovechamiento de los recursos disponibles (hasta llegar a un óptimo o clímax teórico, que el modelo detecta empíricamente): agua, energía y nutrientes. Ese concepto se puede expresar también señalando que se maximiza la internalización de flujos en el sistema.

En el módulo de evaluación, el RUE se calcula a dos escalas temporales: para obtener estimadores de biomasa-madurez (se asocia al RUE medio y se entiende como la respuesta a largo plazo de la vegetación a la precipitación, pudiéndose interpretar los sitios en que es mayor como los ecosistemas más maduros) y de productividad-resiliencia (se asocia al RUE extremo y da idea de la respuesta de la vegetación tras un evento de precipitación abundante; los máximos son sitios capaces de producir mucha biomasa a corto plazo, lo que implica generalmente suelos en buen estado). Ambas implementaciones de RUE se han despojado de efectos climáticos para permitir comparaciones simultáneas de localidades en distintos niveles de aridez. El resultado es un mapa de valoración de la condición de la tierra, con una leyenda simplificada que establece cuatro clases para la degradación de los suelos.

En el módulo de seguimiento, se discriminan los efectos del tiempo y de la aridez sobre el crecimiento de la vegetación para detectar las tendencias intrínsecas de progresión / degradación de la cubierta vegetal, obteniéndose mapas de respuesta de vegetación a la aridez y al tiempo, que a su vez se combinan en un mapa de seguimiento.

La combinación de ambas aproximaciones da como resultado el mapa de la condición de la tierra de la figura 6. En la leyenda del mapa se aprecian los dos niveles jerárquicos utilizados: el superior, de estado, con las cuatro clases de degradación, y el inferior, que indica la tendencia en cada clase.

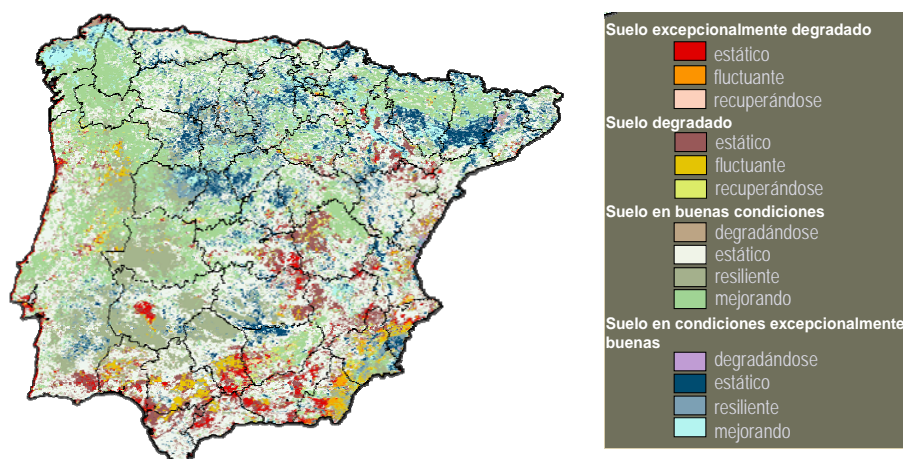


Figura 6. Mapa de la condición de la tierra (1989-2000)

El desarrollo y aplicación de este modelo geomático para la evaluación y seguimiento de la desertificación en España, permite contar con una útil herramienta de análisis, complementaria con otras que genere el Sistema Integrado, que además puede ir actualizándose en el futuro. Debe contemplarse como línea de trabajo la validación del modelo confrontándolo con otros productos que contengan información sobre la condición de la tierra.

### ***Desarrollo de un sistema de pronóstico de la desertificación a través de la aplicación de modelos de dinámica de sistemas.***

Un equipo compuesto por científicos y profesores del Instituto de Economía, Geografía y Demografía del CSIC, la ETSI Agrónomos de Madrid y la Estación Experimental de Zonas Áridas (EEZA- CSIC) viene desarrollando desde hace años una metodología de aplicación de modelos dinámicos para la evaluación temprana del riesgo de desertificación, atendiendo para ello a las componentes socioeconómicas, biofísicas y climáticas de los procesos.

La herramienta utilizada pretende alertar sobre el riesgo de desertificación de una determinada zona, teniendo en cuenta de forma explícita la componente socioeconómica de este proceso de degradación. El producto puede considerarse como un sistema de alerta temprana útil para identificar qué usos del territorio son sostenibles en el largo plazo y cuales no. Este conocimiento puede ayudar a diseñar planes de actuación antes de que los síntomas más evidentes de la desertificación aparezcan.

La metodología utilizada es la Dinámica de Sistemas. Una de sus principales características es que permite hacer operativo el llamado “enfoque sistémico”, esto es, considerar simultáneamente todos los componentes de un sistema y las interacciones entre ellos. Mediante esta técnica se ha construido un modelo general de desertificación que ha sido adaptado a diversos escenarios de desertificación.

Hasta la fecha y en el marco de diversos proyectos de investigación relacionados con la desertificación, se han realizado varias aplicaciones prácticas de esta metodología. Algunas de ellas han sido referidas a zonas representativas de los escenarios de desertificación del PAND, tales como la dehesa extremeña, los cultivos bajo plástico del sureste español, los cultivos de regadío de La Mancha oriental y el olivar en comarcas andaluzas.

Esta línea de trabajo, que está incluida dentro de los elementos de que podría constar el Sistema Integrado, ofrece un gran interés. Los objetivos que se pueden alcanzar con el desarrollo de estos “*Procedimientos de alerta temprana y estimación de riesgos de desertificación basados en modelos dinámicos*” son:

- *Predicción de tendencias esperadas.* Los modelos permiten proyectar a futuro las trayectorias temporales de las principales variables que configuran cada uno de los escenarios de desertificación contemplados en el PAND. Además permitirían estimar dichas tendencias esperadas bajo escenarios de simulación, tanto climáticos como socioeconómicos, especificados por el usuario.
- *Estimación de riesgos de desertificación y de plazos esperados para la desertificación.* La simulación de los modelos permite obtener estimaciones porcentuales del riesgo de desertificación para cada zona de aplicación. Asimismo, proporcionaría el número de años esperado para que se produzca la desertificación de las zonas estudiadas.
- *Clasificación de factores climáticos, socioeconómicos y biofísicos según su influencia en los procesos de desertificación.* Para cada zona de aplicación los modelos clasificarían todos los factores considerados en orden de mayor a menor impacto en el proceso de desertificación correspondiente. Ello sería de utilidad en dos sentidos: conocer cuáles serían los aspectos sobre los que resultaría más eficaz actuar de cara a luchar contra la desertificación, e informar sobre cuáles serían las variables prioritarias sobre las que establecer un adecuado seguimiento y control.

## 5. Conclusiones

Independientemente de la mejora del mapa de riesgo de desertificación como resultado de los cambios metodológicos, los resultados de la actualización de datos de alguno de los factores considerados (incendios, erosión) permiten apreciar una tendencia favorable en la evolución del proceso, si bien todavía es prematura una cuantificación de esta tendencia a partir de la aproximación cartográfica.

Gracias a las mejoras tecnológicas y a los avances en el conocimiento de los procesos de degradación de las tierras, en los últimos años se han desarrollado un conjunto de herramientas, de muy diverso signo, pero complementarias entre sí, que además de conseguir mayores niveles de precisión y de sensibilidad, permiten analizar la situación desde diferentes ángulos, cuestión que en el complejo proceso de la desertificación resulta imprescindible.

El Sistema Integrado de Evaluación y Vigilancia de la Desertificación en España propuesto en el PAND pretende aunar, integrar y explotar los esfuerzos de la comunidad científica y técnica empeñada desde hace mucho tiempo en ampliar el conocimiento de la desertificación para avanzar en la mitigación de sus consecuencias.

## 6. Agradecimientos

Queremos agradecer la labor del resto de expertos que han trabajado en la revisión del diagnóstico: Víctor Castillo Sánchez (CEBAS-CSIC), Andrés García Lorca (Universidad de Almería), Francisco López Bermúdez (Universidad de Murcia), Juan Ángel Mintegui Aguirre (ETSI Montes de Madrid) y Antonio Valera Lozano (CIDE).

## 7. Bibliografía

DEL BARRIO, G.; 2008. Assessment and monitoring of desertification: a geomatic approach. *Digital Earth Summit on Geoinformatics: Tools for Global Change Research*. Potsdam, 12-14 Noviembre de 2008.

DEL BARRIO, G.; PUIGDEFABREGAS, J.; SANJUAN, M.E.; STELLMES, M. & RUIZ, A.; 2009. *Assessment and monitoring of land condition in the Iberian Peninsula over 1989-2000*. Deliverable D.1.5.3.19, DeSurvey IP (EC contract nº 003950). Almería. 32 pp.

DE PAZ, J.M.; SÁNCHEZ, J. & VISCONTI, F; 2006. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in Spanish Mediterranean region. *Journal of Environmental Management*. 79. pp150-162.

FAO, PNUMA, UNESCO.; 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. FAO. Roma.

IBÁÑEZ, J.; MARTÍNEZ, J. & PUIGDEFÁBREGAS, J.; 2008. Assessing desertification risk using system stability condition analysis. *Ecological modelling*. Vol 213 (2): 180-190.

IBÁÑEZ, J.; MARTÍNEZ, J. & SCHNABEL, S.; 2007. Desertification due to overgrazing in a dynamic commercial livestock-grass-soil system. *Ecological modelling*. Vol 205 (3-4): 277-288.

IBÁÑEZ, J.; MARTÍNEZ, S. & MARTÍNEZ, J.; 2004. The exploitation of groundwater aquifers by agricultural production units. *Water Resources Research*. Vol 46, W03402.

IBÁÑEZ, J.; MARTÍNEZ, J. & PUIGDEFÁBREGAS, J.; 2008. Assessing overexploitation in Mediterranean aquifers using system stability condition analysis. *Ecological modelling*. En prensa, disponible on line.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO; 2008. Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND). Disponible en web: [http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/desertificacion/programa\\_desertificacion/archivos\\_pand.htm](http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/desertificacion/programa_desertificacion/archivos_pand.htm)

SÁNCHEZ, J.; BOLUDA, R.; MORELL, C.; COLOMER, JC. & ARTIGAO, A.; 1999. Assessment of soil degradation within the EFEDA area. In Balabanis, P., Peter, D. Ghazi, A. Sogas, M.T. (Eds). *Mediterranean Desertification: Research Results and Policy Implications*, pp387-396